

Docket No.: 60188-716

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of	:	Customer Number: 20277
	:	
Satoshi TAMURA, et al.	:	Confirmation Number:
	:	
Serial No.:	:	Group Art Unit:
	:	
Filed: November 21, 2003	:	Examiner:
	:	
For: SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE AND METHOD FOR FABRICATING THE SAME	:	

**CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Mail Stop CPD
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claim the priority of:

Japanese Patent Application No. JP 2002-343345, filed on November 27, 2002.

cited in the Declaration of the present application. A certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT WILL & EMERY


Michael E. Fogarty
Registration No. 36,139

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 MEF:gav
Facsimile: (202) 756-8087
Date: November 21, 2003

60188-716
Satoshi TAMURA, et al.
November 21, 2003



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 1 1 月 2 7 日
Date of Application:

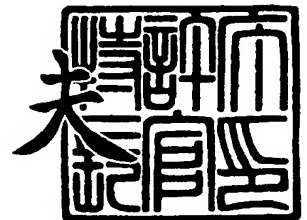
出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 3 4 3 3 4 5
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 2 - 3 4 3 3 4 5]

出 願 人 松 下 電 器 産 業 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 9 月 3 0 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 8 0 2 0 3

【書類名】 特許願

【整理番号】 2925040067

【提出日】 平成14年11月27日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

H01L 21/20

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 田村 聡之

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 上田 哲三

【特許出願人】

【識別番号】 000005821

【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100077931

【弁理士】

【氏名又は名称】 前田 弘

【選任した代理人】

【識別番号】 100094134

【弁理士】

【氏名又は名称】 小山 廣毅

【選任した代理人】

【識別番号】 100110939

【弁理士】

【氏名又は名称】 竹内 宏

【選任した代理人】

【識別番号】 100110940

【弁理士】

【氏名又は名称】 嶋田 高久

【選任した代理人】

【識別番号】 100113262

【弁理士】

【氏名又は名称】 竹内 祐二

【選任した代理人】

【識別番号】 100115059

【弁理士】

【氏名又は名称】 今江 克実

【選任した代理人】

【識別番号】 100115510

【弁理士】

【氏名又は名称】 手島 勝

【選任した代理人】

【識別番号】 100115691

【弁理士】

【氏名又は名称】 藤田 篤史

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014409

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0006010

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体発光素子及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 導電型が互いに異なる 2 つの半導体層を含む複数の III-V 族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体と、

前記半導体積層構造体の上に形成された透光性電極とを備え、

前記透光性電極は、前記半導体積層構造体のうち前記透光性電極と界面を持つ半導体に添加された不純物元素と同一の導電型を示す不純物元素を含むことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2】 導電型が互いに異なる 2 つの半導体層を含む複数の III-V 族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体と、

前記半導体積層構造体の上に形成された透光性電極とを備え、

前記透光性電極は、水素を吸着する金属元素を含むことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 3】 導電型が互いに異なる 2 つの半導体層を含む複数の III-V 族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体と、

前記半導体積層構造体の上に形成された保護膜とを備え、

前記保護膜は、前記半導体積層構造体のうち前記保護膜と界面を持つ半導体に添加された不純物元素と同一の導電型を示す不純物元素を含むことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 4】 導電型が互いに異なる 2 つの半導体層を含む複数の III-V 族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体と、

前記半導体積層構造体の上に形成された保護膜とを備え、

前記保護膜は、水素を吸着する金属元素を含むことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 5】 前記不純物元素は、マグネシウム、亜鉛、ベリリウム又はシリコンであることを特徴とする請求項 1 又は 3 に記載の半導体発光素子。

【請求項 6】 前記金属元素は、ニッケル、パラジウム又は白金であることを特徴とする請求項 2 又は 4 に記載の半導体発光素子。

【請求項 7】 前記半導体積層構造体の上の前記保護膜が形成されていない領域に設けられた透光性電極をさらに備えていることを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の半導体発光素子。

【請求項 8】 前記透光性電極はインジウム錫酸化物又は酸化ガリウムよりなることを特徴とする請求項 1、2 及び 7 のうちのいずれか 1 項に記載の半導体発光素子。

【請求項 9】 前記透光性電極の上に、前記半導体積層構造体から出射される出射光を反射する複数の誘電体層よりなる多層膜をさらに備えていることを特徴とする請求項 1、2 及び 7 のうちのいずれか 1 項に記載の半導体発光素子。

【請求項 10】 前記半導体積層構造体における前記透光性電極の反対側に形成され、前記半導体積層構造体から出射される出射光を反射する複数の誘電体層又は複数の半導体層よりなる多層膜をさらに備えていることを特徴とする請求項 1、2、7 及び 9 のうちのいずれか 1 項に記載の半導体発光素子。

【請求項 11】 前記多層膜は、酸化シリコン、窒化シリコン、酸化ニオブ、酸化ハフニウム、酸化チタン及び酸化タンタルのうちの少なくとも 2 つにより構成されていることを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の半導体発光素子。

【請求項 12】 基板上に、導電型が互いに異なる 2 つの半導体層を含む複数の III-V 族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体を形成する工程と、

前記半導体積層構造体の電極形成面の上に、該電極形成面よりなる半導体に添加された不純物元素と同一の導電型を示す不純物元素を含む材料を用いて透光性電極を形成し、形成した透光性電極に対して熱処理を行なう工程とを備えていることを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 13】 基板上に、導電型が互いに異なる 2 つの半導体層を含む複数の III-V 族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体を形成する工程と、

前記半導体積層構造体の上に、水素を吸着する金属元素を含む材料を用いて透光性電極を形成し、形成した透光性電極に対して熱処理を行なう工程とを備えていることを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 14】 前記透光性電極を形成するよりも前に、
前記半導体積層構造体の上に保護膜を形成する工程と、

前記保護膜における前記透光性電極の形成部分を除去する工程とをさらに備え

、
前記保護膜は、前記半導体積層構造体のうち前記保護膜と界面を持つ半導体に添加された不純物元素と同一の導電型を示す不純物元素を含む材料を用いて形成することを特徴とする請求項 12 又は 13 に記載の半導体発光素子。

【請求項 15】 前記透光性電極を形成するよりも前に、
前記半導体積層構造体の上に保護膜を形成する工程と、
前記保護膜における前記透光性電極の形成部分を除去する工程とをさらに備え

、
前記保護膜は、水素を吸着する金属元素を含む材料を用いて形成することを特徴とする請求項 12 又は 13 に記載の半導体発光素子。

【請求項 16】 基板上に、導電型が互いに異なる 2 つの半導体層を含む複数の III-V 族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体を形成する工程と、

前記半導体積層構造体の上に金属よりなる第 1 電極を形成する工程と、

前記半導体積層構造体から前記基板を除去する工程と、

前記半導体積層構造体における前記第 1 電極の反対側の第 2 電極形成面の上に、該第 2 電極形成面を有する半導体に添加された不純物元素と同一の導電型を示す不純物元素を含む材料を用いて透光性電極を形成し、形成した透光性電極に対して熱処理を行なう工程とを備えていることを特徴とする半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、青色域から紫外域の光を出力可能な III-V 族窒化物半導体よりなる半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、一般式が $B_z A_{1-x} G a_{1-x-y-z} I n_y N$ (但し、 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq z \leq 1$, $x + y + z = 1$ である。) で表わされる III-V 族窒化物 (以下、単に窒化物という) を用いた発光ダイオード素子 (GaN 系 LED 素子) が、各

種表示用パネル、大型ディスプレイ又は交通信号機等で広く実用化されている。
また、Ga N系LED素子と蛍光体とを組み合わせた白色LED素子も商品化され、将来的に発光効率が改善されれば、現状の照明装置と置き換わることも期待されている。

【0 0 0 3】

図18は従来の窒化物半導体を用いた青色発光ダイオード素子の断面構成を示している（例えば、特許文献1、特許文献2及び特許文献3参照。）。図18に示すように、従来の青色発光ダイオード素子は、サファイアよりなる基板101上に、n型の窒化物半導体よりなる第1の半導体層102及びp型の窒化物半導体よりなる第2の半導体層103が順次積層されている。

【0 0 0 4】

第2の半導体層103の上には、p型の窒化物半導体と良好なオーミック接触が可能な、厚さが2 nm～5 nm程度のニッケル及び金よりなる第1の電極104が形成されている。

【0 0 0 5】

第1の電極104の上には、ワイヤボンディング用であって、第1の電極104を貫通して第2の半導体層103に達する金よりなる第2の電極105が形成されている。また、その一部が露出した第1の物半導体層102上にはn型オーミック電極106が形成されている。

【0 0 0 6】

このように、従来の青色発光ダイオード素子は、第1の半導体層102及び第2の半導体層103の界面により構成されるpn接合部で発光した再結合光（生成光）が第2の半導体層103及び第1の電極104を透過して取り出される。

【0 0 0 7】

【特許文献1】

特開平07-094782号公報

【特許文献2】

特開平10-173224号公報

【特許文献3】

特開 2000-5891 号公報

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、前記従来の青色発光ダイオード素子は、 $p-n$ 接合部で生成された再結合光の一部が金属よりなる第1の電極104によって吸収されてしまうという問題がある。そこで、第1の電極104の厚さを極めて小さくすれば、該第1の電極104を透過する光の透過量を増大させることは可能とはなるが、その場合には、該第1の電極104における直列抵抗（シート抵抗）が増大してしまうというトレードオフの関係にあり、素子の光学的電気的特性（デバイス特性）を飛躍的に向上させることは困難となる。

【0009】

また、他の方法として、光の取り出し効率を向上するため、第1の電極104の材料として、金属に代えて透光性電極を用いる方法がある。しかし、この場合には、 p 型の窒化物半導体層とその上に形成される透光性電極との接触（コンタクト）抵抗が大きいという問題がある。

【0010】

また、窒化物半導体は、該半導体の導電型を決定する不純物、特に p 型不純物の活性化率が小さいため、シート抵抗が大きいという問題をも有している。

【0011】

本発明は、前記従来の問題に鑑み、窒化物半導体素子における透光性電極と間の接触抵抗を低減できるようにすることを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】

前記の目的を達成するため、本発明は、半導体発光素子を、窒化物半導体層と界面を持つ透光性電極に窒化物半導体層にドーピングした不純物と同一の導電型を示す不純物又は水素を吸着可能な金属を添加する構成とする。

【0013】

また、前記の目的を達成するため、本発明は、半導体発光素子を、窒化物半導体層と界面を持つ保護膜に窒化物半導体層にドーピングした不純物と同一の導電型を

示す不純物又は水素を吸着可能な金属を添加する構成とする。

【0 0 1 4】

具体的に、本発明に係る第 1 の半導体発光素子は、導電型が互いに異なる 2 つの半導体層を含む複数の III-V 族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体と、半導体積層構造体の上に形成された透光性電極とを備え、透光性電極は半導体積層構造体のうち透光性電極と界面を持つ半導体に添加された不純物元素と同一の導電型を示す不純物元素を含む。

【0 0 1 5】

第 1 の半導体発光素子によると、導電型が互いに異なる 2 つの半導体層を含む複数の III-V 族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体の上に形成された透光性電極は、半導体積層構造体のうち透光性電極と界面を持つ半導体に添加された不純物元素と同一の導電型を示す不純物元素を含むため、製造時の熱処理により透光性電極に含まれる不純物元素が該透光性電極と界面を持つ半導体層に拡散すると、半導体層に拡散した透光性電極からの不純物元素によって、該半導体層における透光性電極との界面近傍部分の抵抗値が低下する。その結果、半導体層における透光性電極との間の接触抵抗が小さくなる。

【0 0 1 6】

本発明に係る第 2 の半導体発光素子は、導電型が互いに異なる 2 つの半導体層を含む複数の III-V 族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体と、半導体積層構造体の上に形成された透光性電極とを備え、透光性電極は水素を吸着する金属元素を含む。

【0 0 1 7】

第 2 の半導体発光素子によると、導電型が互いに異なる 2 つの半導体層を含む複数の III-V 族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体の上に形成された透光性電極は水素を吸着する金属元素を含むため、製造時の熱処理により透光性電極に含まれる水素を吸着する金属元素が該透光性電極と界面を持つ半導体層に拡散すると、半導体層に添加されている不純物元素と結合していた水素原子が、透光性電極から半導体層に拡散してきた、水素を吸着する金属元素により吸着（結合）される。これにより、半導体層における透光性電極との界面近傍部分に添加さ

れている不純物元素の活性化率が向上して半導体層の抵抗が小さくなるため、該半導体層における透光性電極との間の接触抵抗が小さくなる。

【0018】

本発明に係る第3の半導体発光素子は、導電型が互いに異なる2つの半導体層を含む複数のIII-V族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体と、半導体積層構造体の上に形成された保護膜とを備え、保護膜は半導体積層構造体のうち該保護膜と界面を持つ半導体に添加された不純物元素と同一の導電型を示す不純物元素を含む。

【0019】

第3の半導体発光素子によると、導電型が互いに異なる2つの半導体層を含む複数のIII-V族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体の上に形成された保護膜は、半導体積層構造体のうち保護膜と界面を持つ半導体に添加された不純物元素と同一の導電型を示す不純物元素を含むため、製造時の熱処理により保護膜に含まれる不純物元素が該保護膜と界面を持つ半導体層に拡散すると、半導体層に拡散した保護膜からの不純物元素によって、該半導体層における保護膜との界面近傍部分の抵抗値が低下する。その結果、半導体層の上部の抵抗値（シート抵抗）が小さくなる。

【0020】

本発明に係る第4の半導体発光素子は、導電型が互いに異なる2つの半導体層を含む複数のIII-V族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体と、半導体積層構造体の上に形成された保護膜とを備え、保護膜は水素を吸着する金属元素を含む。

【0021】

第4の半導体発光素子によると、導電型が互いに異なる2つの半導体層を含む複数のIII-V族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体の上に形成された保護膜は水素を吸着する金属元素を含むため、製造時の熱処理により保護膜に含まれる金属元素が該保護膜と界面を持つ半導体層に拡散すると、半導体層に添加されている不純物元素と結合していた水素原子が、保護膜から半導体層に拡散してきた、水素を吸着する金属元素により吸着（結合）される。これにより、半導体層

における透光性電極との界面近傍部分に添加されている不純物元素の活性化率が向上して半導体層の抵抗値が小さくなるため、該半導体層の上部の抵抗値（シート抵抗）が小さくなる。

【0022】

第1又は第3の半導体発光素子において、不純物元素は、マグネシウム、亜鉛、ベリリウム又はシリコンであることが好ましい。

【0023】

第2又は第4の半導体発光素子において、金属元素は、ニッケル、パラジウム又は白金であることが好ましい。

【0024】

第3又は第4の半導体発光素子は、半導体積層構造体の上の保護膜が形成されていない領域に設けられた透光性電極をさらに備えていることが好ましい。

【0025】

第1～第4の半導体発光素子において、透光性電極はインジウム錫酸化物又は酸化ガリウムよりなることが好ましい。

【0026】

また、第1～第4の半導体発光素子は、透光性電極の上に、半導体積層構造体から出射される出射光を反射する複数の誘電体層よりなる多層膜をさらに備えていることが好ましい。

【0027】

第1～第4の半導体発光素子は、半導体積層構造体における透光性電極の反対側に形成され、半導体積層構造体から出射される出射光を反射する複数の誘電体層又は複数の半導体層よりなる多層膜をさらに備えていることが好ましい。

【0028】

この場合に、多層膜は、酸化シリコン、窒化シリコン、酸化ニオブ、酸化ハフニウム、酸化チタン及び酸化タンタルのうちの少なくとも2つにより構成されていることが好ましい。

【0029】

本発明に係る第1の半導体発光素子の製造方法は、基板上に導電型が互いに異

なる 2 つの半導体層を含む複数の III-V 族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体を形成する工程と、半導体積層構造体の電極形成面の上に、該電極形成面よりなる半導体に添加された不純物元素と同一の導電型他を示す不純物元素を含む材料を用いて透光性電極を形成し、形成した透光性電極に対して熱処理を行なう工程とを備えている。

【0030】

第 1 の半導体発光素子の製造方法によると、基板上に導電型が互いに異なる 2 つの半導体層を含む複数の III-V 族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体を形成し、その後、半導体積層構造体の電極形成面の上に、該電極形成面よりなる半導体に添加された不純物元素と同一の導電型を示す不純物元素を含む材料を用いて透光性電極を形成し、形成した透光性電極に対して熱処理を行なうため、半導体積層構造体の上に形成される透光性電極は、熱処理により透光性電極に含まれる不純物元素が該透光性電極と界面を持つ半導体層に拡散する。このため、半導体層に拡散した透光性電極からの不純物元素によって、該半導体層における透光性電極との界面近傍部分の抵抗値が低下するので、半導体層における透光性電極との間の接触抵抗が小さくなる。

【0031】

本発明に係る第 2 の半導体発光素子の製造方法は、基板上に導電型が互いに異なる 2 つの半導体層を含む複数の III-V 族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体を形成する工程と、半導体積層構造体の上に、水素を吸着する金属元素を含む材料を用いて透光性電極を形成し、形成した透光性電極に対して熱処理を行なう工程とを備えている。

【0032】

第 2 の半導体発光素子の製造方法によると、基板上に導電型が互いに異なる 2 つの半導体層を含む複数の III-V 族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体を形成し、その後、半導体積層構造体の上に、水素を吸着する金属元素を含む材料を用いて透光性電極を形成し、形成した透光性電極に対して熱処理を行なうため、半導体積層構造体の上に形成される透光性電極は、熱処理により透光性電極に含まれる水素を吸着する金属元素が該透光性電極と界面を持つ半導体層に拡散す

る。このため、半導体層に添加されている不純物元素と結合していた水素原子が、透光性電極から半導体層に拡散してきた、水素を吸着する金属元素により吸着（結合）されるので、半導体層における透光性電極との界面近傍部分に添加されている不純物元素の活性化率が向上して半導体層の抵抗が小さくなり、その結果、該半導体層における透光性電極との間の接触抵抗が小さくなる。

【0 0 3 3】

第 1 又は第 2 の半導体発光素子の製造方法は、透光性電極を形成するよりも前に、半導体積層構造体の上に保護膜を形成する工程と、保護膜における透光性電極の形成部分を除去する工程とをさらに備え、保護膜は、半導体積層構造体のうち保護膜と界面を持つ半導体に添加された不純物元素と同一の導電型を示す不純物元素を含む材料を用いて形成することが好ましい。

【0 0 3 4】

第 1 又は第 2 の半導体発光素子の製造方法は、透光性電極を形成するよりも前に、半導体積層構造体の上に保護膜を形成する工程と、保護膜における透光性電極の形成部分を除去する工程とをさらに備え、保護膜は水素を吸着する金属元素を含む材料を用いて形成することが好ましい。

【0 0 3 5】

本発明に係る第 3 の半導体発光素子の製造方法は、基板上に、導電型が互いに異なる 2 つの半導体層を含む複数の III-V 族窒化物半導体層よりなる半導体積層構造体を形成する工程と、半導体積層構造体の上に金属よりなる第 1 電極を形成する工程と、半導体積層構造体から基板を除去する工程と、半導体積層構造体における第 1 電極の反対側の第 2 電極形成面の上に、該第 2 電極形成面を有する半導体に添加された不純物元素と同一の導電型を示す不純物元素を含む材料を用いて透光性電極を形成し、形成した透光性電極に対して熱処理を行なう工程とを備えている。

【0 0 3 6】

第 3 の半導体発光素子の製造方法によると、半導体積層構造体から基板を除去し、その後、半導体積層構造体における第 1 電極の反対側の第 2 電極形成面の上に、該第 2 電極形成面を有する半導体に添加された不純物元素と同一の導電型を

示す不純物元素を含む材料を用いて透光性電極を形成し、形成した透光性電極に対して熱処理を行なう。このため、基板の材料にサファイアのような導電性を持たない絶縁性材料を用いた場合であっても、半導体積層構造体の上面及び下面に第1電極及び第2電極を互いに対向するように形成することができる。その上、金属よりなる第1電極と対向する第2電極（透光性電極）を、第2電極形成面を有する半導体に添加された不純物元素と同一の導電型を示す不純物元素を含む材料を用いて形成し、形成した透光性電極に対して熱処理を行なうため、透光性電極と界面を持つ半導体層に拡散した透光性電極からの不純物元素によって、該半導体層における透光性電極との界面近傍部分の抵抗値が低下するので、該半導体層における透光性電極との間の接触抵抗が小さくなる。

【0037】

【発明の実施の形態】

（第1の実施形態）

本発明の第1の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0038】

図1（a）及び図1（b）は本発明の第1の実施形態に係る青色発光ダイオード素子であって、図1（a）は平面構成を示し、図1（b）は図1（a）のI b-I b線における断面構成を示している。

【0039】

図1（a）及び図1（b）に示すように、例えばサファイアよりなる基板11の上に、厚さが約 $4\mu\text{m}$ でキャリア密度が約 $1\times 10^{17}\text{cm}^2$ のn型の窒化ガリウム（Ga N）よりなる第1の半導体層12と、厚さが約 7nm のGa Nよりなる障壁層と厚さが約 3nm の $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなる井戸層とが3対積層されてなる多重量子井戸（MQW）活性層13と、厚さが約 $0.8\mu\text{m}$ でキャリア密度が約 $1\times 10^{18}\text{cm}^2$ のp型の窒化ガリウム（Ga N）よりなる第2の半導体層14とが順次形成されている。

【0040】

第2の半導体層14の上には、厚さが約 100nm のインジウム錫酸化物（Indium Tin Oxide：ITO）よりなる透光性電極15が形成されて

いる。

【0041】

透光性電極 15 の上には、金 (Au) よりなるボンディングパッド 16 が選択的に形成され、さらに、選択的に露出された第 1 の半導体層 12 の上には、チタン (Ti) 及び金 (Au) の積層体よりなる n 型オーミック電極 17 が形成されている。

【0042】

この構成により、MQW 活性層 13 から青色光が生成されて出射され、第 2 の半導体層 14 及び透光性電極 15 を通して外部に取り出される。

【0043】

第 1 の実施形態の特徴として、透光性電極 15 を構成する ITO には、p 型の第 2 の半導体層 14 に添加された不純物元素と同一のマグネシウム (Mg) が添加されている。この ITO に添加されたマグネシウムは、後述するように製造時のアニールにより第 2 の半導体層 14 に拡散して、該第 2 の半導体層 14 と透光性電極 15 との接触抵抗を低減させる。

【0044】

なお、透光性電極 15 に添加する不純物元素は、マグネシウムに限られず、亜鉛 (Zn) やベリリウム (Be) 等の、窒化ガリウムの導電性を p 型とするドーパントであれば良い。

【0045】

また、MQW 活性層 13 に代えて、厚さが約 20 nm の窒化インジウムガリウムよりなる単一量子井戸 (SQW) 活性層としてもよい。

【0046】

また、図 1 (a) に示すように、透光性電極 15 は導電性を有しているため、電極の配置位置及び形状は任意である。

【0047】

このように第 1 の実施形態によると、透光性電極 15 には、p 型の第 2 の半導体層 14 に添加した不純物元素と同一のマグネシウムを添加しているため、第 2 の半導体層 14 と透光性電極 15 との接触抵抗が小さくなり、動作電圧を低減す

ることができる。

【0048】

以下、前記のように構成された青色発光ダイオード素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0049】

図2(a)～図2(c)、図3(a)及び図3(b)は本発明の第1の実施形態に係る青色発光ダイオード素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

【0050】

まず、図2(a)に示すように、有機金属気相成長(MOVPE)法により、径が約5.1cm(=2インチ)で、主面の面方位が(0001)面であるサファイアよりなる基板11の上に、ガリウム源にトリメチルガリウム(TMg)を用い、窒素源にアンモニア(NH₃)を用い、キャリアガスに水素(H₂)を用い、成長温度を500℃程度に設定して、サファイアと該サファイアの上に成長する第1の半導体層12等との格子不整合を緩和する窒化ガリウムよりなる低温緩衝層(図示せず)を成長する。続いて、低温緩衝層の上に、ドナー不純物であるシリコンを含む原料であるモノシラン(SiH₄)を添加し、成長温度を約1030℃として、厚さが約4μmのn型の窒化ガリウムよりなる第1の半導体層12を成長する。続いて、モノシランの供給を停止し、第1の半導体層12の上に、厚さが約7nmの窒化ガリウムよりなる障壁層を成長し、続いて、キャリアガスを窒素(N₂)に切り替えると共に成長温度を約800℃に降温して、インジウム源であるトリメチルインジウム(TMI)をも供給しながら、障壁層の上に、厚さが約3nmでインジウムの組成が30%の窒化インジウムガリウムよりなる井戸層を成長する。この障壁層と井戸層とを交互に3対成長して、MQW活性層13を形成する。この量子井戸構造により、MQW活性層には波長が約470nmの青色光が生成される。このように、窒化ガリウムよりなる障壁層を成長する際のキャリアガスは水素とし、その成長温度を約1030℃としており、一方、窒化インジウムガリウムよりなる井戸層を成長する際のキャリアガスは窒素とし、その成長温度を約800℃としている。

【0051】

続いて、トリメチルガリウム及びアンモニアよりなる各原料ガスに、アクセプタ不純物であるマグネシウムを含む原料であるシクロペンタジエニルマグネシウム (Cp_2Mg) を添加して、MQW活性層 13 の上に、厚さが約 $0.8\ \mu\text{m}$ の p 型の窒化ガリウムよりなる第 2 の半導体層 14 を成長する。第 2 の半導体層 14 を成長した後、アニーリング装置を用いて、第 2 の半導体層 14 に対して、温度が約 750°C の窒素雰囲気中で 20 分間のアニールを行なって、第 2 の半導体層 14 に添加された p 型ドーパントを活性化することにより、第 2 の半導体層 14 をさらに低抵抗化する。

【0052】

次に、図 2 (b) に示すように、例えば塩素 (Cl_2) をエッチングガスとする反応性イオンエッチング (Reactive Ion Etching: RIE) 又は誘導結合プラズマ (Inductory Coupled Plasma: ICP) エッチング等のドライエッチングにより、第 2 の半導体層 14、MQW 活性層 13、及び第 1 の半導体層 12 の上部を選択的に除去して、第 1 の半導体層 12 に n 型電極形成領域 12a を形成する。

【0053】

次に、図 2 (c) に示すように、第 2 の半導体層 14 の上に、厚さが約 $100\ \text{nm}$ で、第 2 の半導体層 14 の p 型ドーパントと同一の不純物元素であるマグネシウムが添加された ITO を選択的に成膜して透光性電極 15 を形成する。ITO の成膜法には、スパッタ法、パルスレーザ堆積 (PLD) 法、電子ビーム (EB) 法、又はゾル・ゲル法等を用いる。ITO の低抵抗化という観点からは、スパッタ法又は PLD 法が好ましい。また、スパッタ法又は PLD 法を用いると、ターゲット材は一般に焼結法により形成するため、マグネシウム等の不純物元素を容易に添加することができる。続いて、透光性電極 15 を成膜した後、該透光性電極 15 に対して温度が約 500°C のアニールを行なう。このアニールにより、ITO に添加されていたマグネシウムの一部が ITO と第 2 の半導体層 14 との界面から該第 2 の半導体層 14 に拡散する。これにより、第 2 の半導体層 14 における透光性電極 15 との界面の近傍領域の抵抗値が低減して、第 2 の半導体層 14 に対して接触抵抗が小さい透光性電極 15 が形成される。ここで、ITO

に添加する不純物元素はマグネシウムに限られず、亜鉛又はベリリウムを用いてもよい。しかしながら、ドーパントがより活性化するという観点からはマグネシウムが好ましい。また、透光性電極 15 は ITO に限られず、470 nm の波長を有する出射光に対して透明であれば良く、例えば酸化錫 (SnO_2) 又は酸化亜鉛 (ZnO) を用いてもよい。

【0054】

次に、図 3 (a) に示すように、各透光性電極 15 の上に、ワイヤボンディング用のボンディングパッド 16 をそれぞれ選択的に形成する。続いて、第 1 の半導体層 12 における各 n 型電極形成領域 12a の上にチタンと金とを順次成膜してそれぞれ n 型オーミック電極 17 を形成する。

【0055】

次に、図 3 (b) に示すように、基板 11 を 300 μm 角程度のチップ状に分割して、青色発光ダイオード素子を得る。

【0056】

以上のように作製された、p 型の第 2 の半導体層 14 から出射光を取り出す青色発光ダイオード素子は、透光性電極 15 (p 型電極) に対して p 型の第 2 の半導体層 14 にドーパされた不純物と同一のマグネシウムをあらかじめ添加しておき、アニールによりその界面を通して第 2 の半導体層 14 に拡散させるため、透光性電極 15 の第 2 の半導体層 14 との接触抵抗が小さくなるので、第 2 の半導体層 14 における透光性電極 15 との界面近傍が低抵抗となり、その結果、動作電圧を低減することができる。

【0057】

(第 1 の実施形態の第 1 変形例)

第 1 の実施形態においては、透光性電極 15 を構成する透光性材料 (ITO) に、窒化ガリウムの導電性を p 型とするドーパントを添加したが、p 型ドーパント以外にも、水素原子を吸着 (結合) しやすい金属元素、例えば、ニッケル (Ni)、パラジウム (Pd) 又は白金 (Pt) 等を添加しても良い。この場合の透光性電極 15 の形成方法は、該透光性電極 15 を成膜する際のターゲット材に、ニッケル等の水素原子を吸着しやすい金属元素をあらかじめ添加しておけば良い。

。

【0058】

一般に、p型の窒化ガリウム半導体に添加されたp型ドーパントは水素原子と結合して不活性な状態となりやすい。そこで、水素原子を吸着しやすいこれらの金属原子を、透光性電極15を介してp型の半導体層に拡散すると、該p型の半導体層に拡散された金属原子がp型の半導体層に取り込まれた水素原子を引きつける。

【0059】

このように、ニッケル等の金属原子は、p型ドーパントの不活性化の原因である水素原子をp型ドーパントから引き離すため、マグネシウム等のp型ドーパントの活性化が促進されるので、p型の第2の半導体層14における透光性電極15との界面近傍の領域が低抵抗となる。その結果、第2の半導体層14に対して接触抵抗が小さい透光性電極15を形成することができるようになる。

【0060】

(第1の実施形態の第2変形例)

第1の実施形態においては、p型の第2の半導体層14側から生成光を取り出す構成としたが、基板11側から生成光を取り出すフリップチップ型素子としてもよい。

【0061】

図4に示すように、青色発光ダイオード素子における透光性電極15は、複数の誘電体よりなる多層膜から構成された高反射膜21及び第1の半田材22を介在させており、また、n型オーミック電極17は第2の半田材23を介在させて、それぞれ実装基板20の上に固着されている。

【0062】

このように、第2変形例に係る青色発光ダイオード素子は、透光性電極15の上にボンディングパット16に代えて高反射膜21を設けることにより、透光性電極15側に出射された出射光を高反射膜21で反射して、基板11側から取り出す構成である。ここで、高反射膜21の反射率は高い程良く、少なくとも7.0%以上であることが望ましい。

【0063】

(第2の実施形態)

以下、本発明の第2の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0064】

図5は本発明の第2の実施形態に係る紫外発光ダイオード素子の断面構成を示している。図5において、図1(a)及び図1(b)に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0065】

図5に示すように、例えばサファイアよりなる基板11の上に、厚さが約 $4\mu\text{m}$ でキャリア密度が約 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-2}$ のn型の窒化アルミニウムガリウム ($\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$) よりなる第1の半導体層32と、厚さが約 7nm の窒化アルミニウムガリウム ($\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{N}$) よりなる障壁層と厚さが約 3nm の GaN よりなる井戸層とが3対積層されてなるMQW活性層33と、厚さが約 $0.8\mu\text{m}$ でキャリア密度が約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-2}$ のp型の窒化アルミニウムガリウム ($\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$) よりなる第2の半導体層34とが順次形成されている。

【0066】

第1の半導体層32の露出領域には、チタンとアルミニウムとよりなるn型オーミック電極37が形成されている。

【0067】

第2の半導体層34の上には、厚さが約 100nm で、 $1\text{mol}\%$ 程度の錫 (Sn) が添加された酸化ガリウム (Ga_2O_3) よりなる透光性電極35が形成されている。ここで、酸化ガリウムには β (立方晶) 型を用いると導電性がより良好となり好ましい。また、透光性電極35を構成する酸化ガリウムには、p型の第2の半導体層14に添加された不純物元素と同一のマグネシウム (Mg) が添加されている。第1の実施形態と同様に、この酸化ガリウムに添加されたマグネシウムは、製造時のアニールにより第2の半導体層34に拡散して、該第2の半導体層34と透光性電極35との接触抵抗が低減する。

【0068】

なお、一般に透光性電極として用いられるITOは、波長が 300nm 程度の

紫外光に対して透過率が低く、透光性電極としては適していない。そこで、酸化錫が添加された酸化ガリウム、特に β 型の酸化ガリウムは、300 nm帯の紫外光に対して高い透過率を有しているため、第2の実施形態に係る紫外発光ダイオード素子に設ける透光性電極35として適している。

【0069】

以上のように、第2の実施形態に係る紫外発光ダイオード素子は、透過率が高い透光性電極35を用いているため光の取り出し効率が向上する。その上、透光性電極35に第2の半導体層34をp型とする不純物と同一の導電型を示す不純物が添加されて、透光性電極35と第2の半導体層34との接触抵抗が小さいため、動作電圧を低減することができる。

【0070】

なお、透光性電極35に添加する不純物元素は、マグネシウムに限られず、亜鉛やベリリウム等の、窒化ガリウムの導電型をp型とするドーパントであればよい。

【0071】

また、MQW活性層33に代えて、厚さが約20 nmの窒化ガリウムよりなる単一量子井戸（SQW）活性層としてもよい。

【0072】

以下、前記のように構成された紫外発光ダイオード素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0073】

図6（a）～図6（c）及び図7（a）～図7（c）は本発明の第2の実施形態に係る紫外発光ダイオード素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

【0074】

まず、図6（a）に示すように、MOVPE法により、径が約5.1 cmで、主面の面方位が（0001）面であるサファイアよりなる基板11の上に、ガリウム源にトリメチルガリウムを用い、アルミニウム源にトリメチルアルミニウムを用い、窒素源にアンモニアを用い、キャリアガスに水素を用い、成長温度を500℃程度に設定して、サファイアと該サファイアの上に成長する第1の半導体

層 3 2 等との格子不整合を緩和する窒化アルミニウムガリウムよりなる低温緩衝層（図示せず）を成長する。ここで、低温緩衝層は窒化ガリウムにより形成してもよい。続いて、低温緩衝層の上に、ドナー不純物であるシリコンを含む原料であるモノシランを添加し、成長温度を約 1030°C として、厚さが約 $4\ \mu\text{m}$ の n 型の窒化アルミニウムガリウムよりなる第 1 の半導体層 3 2 を成長する。続いて、モノシランの供給を停止し、第 1 の半導体層 3 2 の上に、厚さが約 $7\ \text{nm}$ の窒化アルミニウムガリウムよりなる障壁層を成長し、続いて、アルミニウム源であるトリメチルアルミニウムの供給を停止して、障壁層の上に、厚さが約 $3\ \text{nm}$ の窒化ガリウムよりなる井戸層を成長する。この障壁層と井戸層とを交互に 3 対成長して、MQW 活性層 3 3 を形成する。この量子井戸構造により、MQW 活性層 3 3 には波長が約 $360\ \text{nm}$ の紫外光が生成される。続いて、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム及びアンモニアよりなる各原料ガスに、アクセプタ不純物であるマグネシウムを含む原料であるシクロペンタジエニルマグネシウムを添加して、MQW 活性層 3 3 の上に、厚さが約 $0.8\ \mu\text{m}$ の p 型の窒化アルミニウムガリウムよりなる第 2 の半導体層 3 4 を成長する。

【0075】

次に、図 6（b）に示すように、例えば PLD 法を用いて、第 2 の半導体層 3 4 の上に、電極自体に導電性をもたらす錫と第 2 の半導体層 3 4 に拡散するためのマグネシウムとが添加された β 型の酸化ガリウムを $100\ \text{nm}$ 程度の厚さで成膜して透光性電極 3 5 を形成する。なお、酸化ガリウムの成膜方法は、スパッタ法でもよいが、良好な結晶性を得られる PLD 法が好ましい。続いて、透光性電極 3 5 を成膜した後に、アニーリング装置を用いて、第 2 の半導体層 3 4 及び透光性電極 3 5 に対して、温度が約 750°C の窒素雰囲気中で 20 分間のアニールを行なうことにより透光性電極 3 5 を低抵抗化すると共に、透光性電極 3 5 から拡散した p 型ドーパントを含め第 2 の半導体層 3 4 の p 型ドーパントを活性化することにより、第 2 の半導体層 3 4 をさらに低抵抗化する。

【0076】

次に、図 6（c）に示すように、透光性電極 3 5 における n 型オーミック電極の形成領域の上側部分を選択的に除去するパターニングを行なう。

【0077】

次に、図7（a）に示すように、例えば塩素をエッチングガスとするRIE又はICPエッチング等のドライエッチングにより、第2の半導体層34、MQW活性層33、及び第1の半導体層32の上部を選択的に除去して、第1の半導体層32にn型電極形成領域32aを形成する。

【0078】

次に、図7（b）に示すように、各透光性電極35の上に、ワイヤボンディング用のボンディングパッド16を選択的に形成する。続いて、第1の半導体層32における各n型電極形成領域32aの上にチタンとアルミニウムとを順次成膜してn型オーミック電極37を形成する。

【0079】

次に、図7（b）に示すように、基板11を300 μ m角程度のチップ状に分割して、紫外発光ダイオード素子を得る。

【0080】

以上説明したように、第2の実施形態に係る製造方法によると、透光性電極35として、紫外光に対する透過率が高い、酸化錫が添加された酸化ガリウムを用いるため、生成光の取り出し効率が極めて良好となるので、電力変換効率が向上する。

【0081】

その上、p型の第2の半導体層34にドーピングされているp型不純物と同一のマグネシウムを透光性電極35にも添加しているため、該透光性電極35を形成した後に行なうアニールによって、第1の実施形態と同様に、マグネシウムの一部が第2の半導体層34における透光性電極35との界面の近傍領域に拡散する。これにより、第2の半導体層34の透光性電極35との界面近傍が低抵抗化するため、第2の半導体層34と透光性電極35との接触抵抗が低下する。

【0082】

なお、酸化ガリウムに添加する不純物元素は、マグネシウムに限られず、窒化アルミニウムガリウムにp型の導電性を示すドーパントであれば良く、亜鉛又はベリリウム等を用いても良い。

【0083】

(第2の実施形態の一変形例)

第2の実施形態においては、透光性電極35を構成する透光性材料(酸化ガリウム)に、窒化アルミニウムガリウムの導電型をp型とするドーパントを添加したが、p型ドーパント以外にも、水素原子を吸着(結合)しやすい金属元素、例えば、ニッケル(Ni)、パラジウム(Pd)又は白金(Pt)等を添加してもよい。この場合の透光性電極35の形成方法は、該透光性電極35を成膜する際のターゲット材に、ニッケル等の水素原子を吸着しやすい金属元素をあらかじめ添加すれば良い。

【0084】

これにより、本変形例に係る窒化物半導体よりなる紫外発光ダイオード素子は、光の取り出し効率の高効率化と動作電圧の低減とを実現することができる。

【0085】

(第3の実施形態)

以下、本発明の第3の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0086】

図8は本発明の第3の実施形態に係る青色発光ダイオード素子の断面構成を示している。図8において、図1(a)及び図1(b)に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0087】

図8に示すように、第3の実施形態に係る青色発光ダイオード素子は、n型窒化ガリウムよりなる第1の半導体層12の上に透光性電極45が形成されており、いわゆるN-u p構造としている。

【0088】

MQW活性層13に対して第1の半導体層12の反対側(下側)には、p型窒化ガリウムよりなる第2の半導体層14が形成されている。

【0089】

第2の半導体層14の下側には、厚さが約100nmの白金よりなるp型電極41が形成され、該p型電極41の下側には、厚さが約200nmの金よりなる

めっき下地層 42 が形成され、該めっき下地層 42 の下側には、厚さが約 $50\ \mu\text{m}$ の金よりなるめっき層 43 が形成されている。

【0090】

第 3 の実施形態の特徴として、透光性電極 45 を構成する ITO には、n 型の第 1 の半導体層 12 に添加された不純物元素と同一のシリコン (Si) が添加されている。この ITO に添加されたシリコンは、後述するように製造時のアニールにより第 1 の半導体層 12 に拡散して、該第 1 の半導体層 12 と透光性電極 45 との接触抵抗が低減する。

【0091】

なお、透光性電極 45 に添加する不純物元素は、シリコンに限られず、ゲルマニウム (Ge) 等の、窒化ガリウムの導電型を n 型とするドーパントであれば良い。

【0092】

また、サファイアよりなる基板 11 を半導体積層構造体から除去し、代わりに、金よりなるめっき層 43 を設けている。これにより、放熱性に優れないサファイアではなく、放熱性に優れためっき層 43 をサブマウント上に実装できるため、デバイスの温度特性が確実に向上する。

【0093】

また、ここでは、図 8 に示すように、N-up 構造としたが、p 型の第 2 の半導体層 14 における MQW 活性層 13 の反対側の面上に透光性電極を形成する、いわゆる P-up 構造としてもよい。この場合の透光性電極には、第 1 の実施形態と同様にマグネシウムを添加する。これにより、N-up 構造の場合と同様に、放熱性に優れ且つ低動作電圧による駆動が可能なデバイスを実現できる。

【0094】

また、半導体積層構造体を第 2 の実施形態と同様に、窒化アルミニウムガリウムとして、MQW 活性層からの出射光を紫外光とする場合には、透光性電極 45 の材料には、酸化錫及びそれと界面を持つ半導体層の不純物と同一の導電型を示す不純物が添加された酸化ガリウム、特に β 型の酸化ガリウムを用いることが好ましい。

【0095】

また、MQW活性層13に代えて、厚さが約20 nmの窒化インジウムガリウムよりなる単一量子井戸（SQW）活性層としてもよい。

【0096】

以下、前記のように構成された紫外発光ダイオード素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0097】

図9（a）～図9（c）及び図10（a）～図10（c）は本発明の第3の実施形態に係る青色発光ダイオード素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

【0098】

まず、図9（a）に示すように、MOVPE法により、径が約5.1 cmで、主面の面方位が（0001）面であるサファイアよりなる基板11の上に、ガリウム源にトリメチルガリウムを用い、窒素源にアンモニアを用い、キャリアガスに水素を用い、成長温度を500℃程度に設定して、サファイアと該サファイアの上に成長する第1の半導体層12等との格子不整合を緩和する低温緩衝層（図示せず）を成長する。続いて、低温緩衝層の上に、ドナー不純物であるシリコンを含む原料であるモノシランを添加し、成長温度を約1030℃として、厚さが約4 μmのn型の窒化ガリウムよりなる第1の半導体層12を成長する。続いて、モノシランの供給を停止し、第1の半導体層12の上に、厚さが約7 nmの窒化ガリウムよりなる障壁層を成長し、続いて、キャリアガスを窒素（N₂）に切り替えると共に成長温度を約800℃に降温して、インジウム源であるトリメチルインジウムをも供給しながら、障壁層の上に、厚さが約3 nmでインジウムの組成が30%の窒化インジウムガリウムよりなる井戸層を成長する。この障壁層と井戸層とを交互に3対成長して、MQW活性層13を形成する。続いて、トリメチルガリウム及びアンモニアよりなる各原料ガスに、アクセプタ不純物であるマグネシウムを含む原料であるシクロペンタジエニルマグネシウムを添加して、MQW活性層13の上に、厚さが約0.8 μmのp型の窒化ガリウムよりなる第2の半導体層14を成長する。第2の半導体層14を成長した後、第2の半導体

層 14 に対して、温度が約 750℃の窒素雰囲気中で 20 分間のアニールを行なって、第 2 の半導体層 14 に添加された p 型ドーパントを活性化することにより、第 2 の半導体層 14 をさらに低抵抗化する。

【0099】

次に、図 9 (b) に示すように、例えば EB 蒸着法により、第 2 の半導体層 14 の上に全面にわたって白金からなる p 型電極 41 を形成する。ここで、p 型電極 41 を構成する材料は、白金に限られず、p 型の第 2 の半導体層 14 に対するオーミック性が良好で且つ反射率が高い材料であれば良く、例えば、ロジウム (Rh) 又は銀 (Ag) 等を用いてもよい。

【0100】

次に、図 9 (c) に示すように、例えば EB 蒸着法により、p 型電極 41 の上の全面に、金よりなるめっき下地層 42 を成膜する。続いて、めっき法により、めっき下地層 42 の上の全面に、厚さが約 50 μ m の金よりなるめっき層 43 を成膜する。

【0101】

次に、図 10 (a) に示すように、めっき層 43 が形成された半導体積層構造体から基板 11 を除去する。基板 11 の除去方法には、例えば、サファイアを透過し且つ窒化ガリウムに吸収される波長を持つレーザ光を基板 11 の裏面 (第 1 の半導体層 12 の反対側の面) 側から照射することにより基板 11 を剥離するレーザリフトオフ法や、基板 11 を機械的に研磨する研磨法とがある。なお、レーザリフトオフ法を用いた場合には、第 1 の半導体層 12 における基板の剥離面上に、窒化ガリウムが熱分解してなる金属ガリウムが付着するため、付着した金属ガリウムを塩酸で除去する必要がある。

【0102】

次に、図 10 (b) に示すように、第 1 の半導体層 12 の露出面上、すなわち、第 1 の半導体層 12 における MQW 活性層 13 の反対側の面上に、例えば PLD 法により、厚さが約 100 nm で、第 1 の半導体層 12 の n 型ドーパントと同一の不純物元素であるシリコンが添加された ITO を成膜して透光性電極 45 を形成する。ここでも、ITO の材料に添加する不純物元素は、第 1 の半導体層 1

2 に n 型の導電性を示すドーパントであれば良く、例えばシリコンに代えてゲルマニウム等を用いてもよい。

【0103】

また、透光性電極 45 の材料は ITO に限られず、波長が 470 nm 程度の光に対して透明であれば良く、酸化錫又は酸化亜鉛を用いてもよい。

【0104】

また、第 2 の実施形態のように、MQW 活性層 13 が紫外域の波長を持つ発光光を出力する構成であれば、透光性電極 45 に酸化錫が添加された酸化ガリウムを用いることにより、発光波長に対して透明となる。

【0105】

続いて、透光性電極 45 を成膜した後、該透光性電極 45 に対して温度が約 500℃ のアニールを行なう。このアニールにより、ITO に添加されていたシリコンの一部が第 1 の半導体層 12 との界面から第 1 の半導体層 12 に拡散するため、第 1 の半導体層 12 における透光性電極 45 との界面の近傍領域の抵抗値が低減して、第 1 の半導体層 12 に対して接触抵抗が小さい透光性電極 45 が形成される。

【0106】

次に、図 10 (c) に示すように、透光性電極 45 の上に、ワイヤボンディング用のボンディングパッド 16 を選択的に形成する。続いて、半導体積層構造体を 300 μm 角程度のチップ状に分割して、青色発光ダイオード素子を得る。

【0107】

以上説明したように、第 3 の実施形態に係る N-up 構造を有する青色発光ダイオード素子は、透光性電極 45 (n 型電極) に対して n 型の第 1 の半導体層 12 にドーパされた不純物と同一のシリコンをあらかじめ添加しておき、アニールにより第 1 の半導体層 12 に拡散させるため、透光性電極 45 の第 1 の半導体層 12 との接触抵抗が小さくなるので、動作電圧の低減が可能となる。

【0108】

その上、サファイアよりなる基板 11 を除去し、且つ p 型の第 2 の半導体層 14 に設けた p 型電極 41 上に、金よりなるめっき層 43 を形成しているため、該

めっき層 43 をサブマウント等を実装すると、放熱性に優れたデバイスを得られる。

【0109】

なお、第3の実施形態の第1変形例として、透光性電極 45 を構成する透光性材料 (ITO) に、窒化ガリウムの導電性を決定するドーパントを添加する代わりに、透光性材料に水素原子を吸着 (結合) しやすい金属元素、例えば、ニッケル (Ni)、パラジウム (Pd) 又は白金 (Pt) 等を添加してもよい。

【0110】

さらに、第2変形例として、図11に示すように、白金からなる p 型電極 41 を透光性材料よりなる透光性 p 型電極 41A とし、さらに、透光性 p 型電極 41A における p 型の第2の半導体層 14 の反対側に、誘電体又は半導体よりなる多層膜 (反射膜) 46 を設けてもよい。

【0111】

この場合も、透光性 p 型電極 41A には、第2の半導体層 14 におけるアクセプタ不純物であるマグネシウムが添加されていることが好ましい。また、多層膜 46 における光の反射率は 70% 以上であることが好ましい。

【0112】

(第4の実施形態)

以下、本発明の第4の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0113】

図12は本発明の第4の実施形態に係る青色発光ダイオード素子の断面構成を示している。図12において、図1(a)及び図1(b)に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0114】

第4の実施形態に係る青色発光ダイオード素子は、第2の半導体層 14 の上面における透光性電極 15 を除く領域、並びに第2の半導体層 14、MQW活性層 13 及び第1の半導体層 12 の露出する各側面を覆うように、マグネシウムが添加された酸化シリコン (SiO_2) よりなる保護膜 51 が形成されている。

【0115】

このように第4の実施形態に係る青色発光ダイオード素子は、その側面が保護膜51により覆われているため、サブマウント材等への実装時に、半導体積層構造体の側面に半田材が回り込むことによる電流のリークを防止することができる。

【0116】

その上、透光性電極15及び保護膜51には、p型の第2の半導体層14のドーパントと同一の不純物元素であるマグネシウムが添加されているため、透光性電極15と第2の半導体層14との接触抵抗を小さくすることができるので、低電圧動作が可能となる。

【0117】

なお、透光性電極15に添加する不純物元素は、マグネシウムに限られず、亜鉛やベリリウム等の、窒化ガリウムの導電性をp型とするドーパントであればよい。

【0118】

また、MQW活性層13に代えて、厚さが約20nmの窒化ガリウムよりなる単一量子井戸（SQW）活性層としてもよい。

【0119】

以下、前記のように構成された青色発光ダイオード素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0120】

図13（a）～図13（d）及び図14（a）～図14（c）は本発明の第4の実施形態に係る青色発光ダイオード素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

【0121】

まず、図13（a）に示すように、MOVPE法により、径が約5.1cmで、主面の面方位が（0001）面であるサファイアよりなる基板11の上に、ガリウム源にトリメチルガリウムを用い、窒素源にアンモニアを用い、キャリアガスに水素を用い、成長温度を500℃程度に設定して、サファイアと該サファイアの上に成長する第1の半導体層12等との格子不整合を緩和する低温緩衝層（

図示せず)を成長する。続いて、低温緩衝層の上に、ドナー不純物であるシリコンを含む原料であるモノシランを添加し、成長温度を約 1030°C として、厚さが約 $4\mu\text{m}$ のn型の窒化ガリウムよりなる第1の半導体層12を成長する。続いて、モノシランの供給を停止し、第1の半導体層12の上に、厚さが約 7nm の窒化ガリウムよりなる障壁層を成長し、続いて、キャリアガスを窒素(N_2)に切り替えると共に成長温度を約 800°C に降温して、インジウム源であるトリメチルインジウムをも供給しながら、障壁層の上に、厚さが約 3nm でインジウムの組成が30%の窒化インジウムガリウムよりなる井戸層を成長する。この障壁層と井戸層とを交互に3対成長して、MQW活性層13を形成する。続いて、トリメチルガリウム及びアンモニアよりなる各原料ガスに、アクセプタ不純物であるマグネシウムを含む原料であるシクロペンタジエニルマグネシウムを添加して、MQW活性層13の上に、厚さが約 $0.8\mu\text{m}$ のp型の窒化ガリウムよりなる第2の半導体層14を成長する。第2の半導体層14を成長した後、第2の半導体層14に対して、温度が約 750°C の窒素雰囲気中で20分間のアニールを行なって、第2の半導体層14に添加されたp型ドーパントを活性化することにより、第2の半導体層14をさらに低抵抗化する。

【0122】

次に、図13(b)に示すように、例えば塩素をエッチングガスとするRIE)又はICPEッチング等のドライエッチングにより、第2の半導体層14、MQW活性層13、及び第1の半導体層12の上部を選択的に除去して、第1の半導体層12にn型電極形成領域12aを形成する。

【0123】

次に、図13(c)に示すように、例えばスパッタ法を用いて、第2の半導体層14の上に各n型電極形成領域12aを含む全面にわたって、厚さが約 300nm でマグネシウムが添加された酸化シリコンよりなる保護膜51を堆積する。続いて、堆積した保護膜51に対して、 500°C 程度の温度でアニールを行なうことにより、保護膜51に添加されたマグネシウムが、該保護膜51からその界面を通して第2の半導体層14の上部に拡散し、該第2の半導体層14の保護膜51との界面近傍の抵抗値が低減する。なお、保護膜51にマグネシウムを添加

するには、スパッタ法の場合にはターゲット材に混入すれば良く、ゾル・ゲル法の場合には原料液に有機化合物として混入すれば良い。

【0 1 2 4】

次に、図 1 3 (d) に示すように、保護膜 5 1 における第 2 の半導体層 1 4 上の透光性電極の形成部分、及び保護膜 5 1 における各 n 型電極形成領域 1 2 a の上側部分をドライエッチングにより選択的に除去する。

【0 1 2 5】

次に、図 1 4 (a) に示すように、例えばスパッタ法又は P L D 法により、第 2 の半導体層 1 4 の露出面上に、厚さが約 1 0 0 n m で、第 2 の半導体層 1 4 の p 型ドーパントと同一の不純物元素であるマグネシウムが添加された I T O を選択的に成膜して透光性電極 1 5 を形成する。その後、形成した透光性電極 1 5 に対して、再度 5 0 0 ℃ 程度の温度でアニールを行なうことにより、透光性電極 1 5 に添加されたマグネシウムが、該透光性電極 1 5 からその界面を通して第 2 の半導体層 1 4 の上部にさらに拡散し、該第 2 の半導体層 1 4 の透光性電極 1 5 との界面近傍の抵抗値がさらに低減する。その結果、p 型の第 2 の半導体層 1 4 の上には、より低接触抵抗の透光性電極 1 5 を形成することができる。

【0 1 2 6】

なお、保護膜 5 1 及び透光性電極 1 5 に添加する不純物元素は、マグネシウムに限られず、亜鉛等の窒化ガリウムが p 型を示すドーパントであればよい。

【0 1 2 7】

次に、図 1 4 (b) に示すように、各透光性電極 1 5 の上に、ワイヤボンディング用のボンディングパット 1 6 を選択的に形成する。続いて、第 1 の半導体層 1 2 における各 n 型電極形成領域 1 2 a の上にチタンと金とを順次成膜して n 型オーミック電極 1 7 を形成する。

【0 1 2 8】

次に、図 1 4 (c) に示すように、基板 1 1 を 3 0 0 μ m 角程度のチップ状に分割して、青色発光ダイオード素子を得る。

【0 1 2 9】

以上説明したように、第 4 の実施形態に係る青色発光ダイオード素子の製造方

法によると、透光性電極 1 5 と接触する p 型の第 2 の半導体層 1 4 は、保護膜 5 1 及び透光性電極 1 5 に第 2 の半導体層 1 4 の p 型ドーパントであるマグネシウムが添加されているため、保護膜 5 1 の堆積後のアニール、及び該保護膜 5 1 が除去された後に形成される透光性電極 1 5 の形成後のアニールによって、これらとの界面から第 2 の半導体層 1 4 にマグネシウムが拡散する。その結果、第 2 の半導体層 1 4 の透光性電極 1 5 との界面近傍の抵抗値が大きく低減して、透光性電極 1 5 と第 2 の半導体層 1 4 との接触抵抗が低減するので、低動作電圧による駆動が可能となる。

【0 1 3 0】

その上、半導体積層構造体の側面を保護膜 5 1 により覆うため、実装時の半田材が半導体積層構造体の側面に回り込むことによる電流のリークを防止することができるので、歩留まり向上する。

【0 1 3 1】

なお、第 4 の実施形態の一変形例として、保護膜 5 1 及び透光性電極 1 5 を構成する透光性材料（ITO）に、窒化ガリウムの導電型を決定するドーパントを添加する代わりに、保護膜 5 1 及び透光性材料のうち少なくとも一方に、水素原子を吸着（結合）しやすい金属元素、例えば、ニッケル（Ni）、パラジウム（Pd）又は白金（Pt）等を添加しても良い。

【0 1 3 2】

また、窒化物半導体のドーパントとなる不純物又は水素原子を吸着しやすい金属元素は、保護膜 5 1 及び透光性電極 1 5 のいずれか一方にのみ添加するだけでも、本発明の効果を得ることができる。

【0 1 3 3】

（第 5 の実施形態）

以下、本発明の第 5 の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0 1 3 4】

図 1 5 は本発明の第 4 の実施形態に係る青色面発光レーザ素子の断面構成を示している。図 1 5 において、図 1（a）及び図 1（b）に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0135】

図15に示すように、例えばサファイアよりなる基板11と、n型の窒化ガリウムより第1の半導体層12との間には、窒化アルミニウムガリウムと窒化ガリウムとが交互に積層されてなる第1のDBR (Distributed Bragg Reflect) ミラー61が形成されている。さらに、例えばマグネシウムが添加された透光性電極15の上の光導波部には誘電体よりなる第2のDBRミラー65が形成されている。

【0136】

また、第2の半導体層14の上の端部には、例えばマグネシウムが添加された酸化シリコンよりなる保護膜51が形成され、透光性電極15から供給される動作電流を狭窄する電流狭窄構造としている。

【0137】

ここで、窒化インジウムガリウムよりなるMQW活性層63はSQW構造でもよい。

【0138】

この構成により、第1の実施形態と同様に、透光性電極15とp型の第2の半導体層14との接触抵抗が小さくなるので、青色面発光レーザ素子の低電圧駆動が可能となる。

【0139】

第5の実施形態においても、マグネシウム等のp型ドーパントは、透光性電極15及び保護膜51のうち少なくとも一方に添加すれば良いが、両方に添加することにより、その効果をより顕著に得られるようになる。

【0140】

以下、前記のように構成された青色面発光レーザ素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0141】

図16(a)～図16(c)及び図17(a)～図17(c)は本発明の第5の実施形態に係る青色面発光レーザ素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

【0142】

まず、図16(a)に示すように、MOVPE法により、径が約5.1cmで、主面の面方位が(0001)面であるサファイアよりなる基板11の上に、ガリウム源にトリメチルガリウムを用い、窒素源にアンモニアを用い、キャリアガスに水素を用い、成長温度を500℃程度に設定して、サファイアと該サファイアの上に成長する第1のDBRミラー61等との格子不整合を緩和する低温緩衝層(図示せず)を成長する。続いて、低温緩衝層の上に、成長温度を約1030℃に設定して、窒化アルミニウムガリウムよりなる第1層と窒化ガリウムよりなる第2層とを交互に積層して、第1のDBRミラー61を形成する。このとき、第1層の成長時には、アルミニウム源としてトリメチルアルミニウムを原料に加える。ここで、第1のDBRミラー61は、MQW活性層63から出射される光の波長に対してその反射率が99%以上となるように構成する。続いて、ドナー不純物であるシリコンを含む原料であるモノシランを添加して、n型の窒化ガリウムよりなる第1の半導体層12を成長する。続いて、モノシランの供給を停止し、第1の半導体層12の上に、窒化ガリウムよりなる障壁層を成長し、続いて、キャリアガスを窒素(N₂)に切り替えると共に成長温度を約800℃に降温して、インジウム源であるトリメチルインジウム(TMI)をも供給しながら、障壁層の上に窒化インジウムガリウムよりなる井戸層を成長する。この障壁層と井戸層とを例えば交互に3対成長して、MQW活性層63を形成する。このMQW活性層63からは、波長が約470nmの青色光が生成される。続いて、トリメチルガリウム及びアンモニアよりなる各原料ガスに、アクセプタ不純物であるマグネシウムを含む原料であるシクロペンタジエニルマグネシウムを添加して、MQW活性層63の上に、窒化ガリウムよりなる第2の半導体層14を成長する。第2の半導体層14を成長した後、第2の半導体層14に対して、温度が約750℃の窒素雰囲気中で20分間のアニールを行なって、第2の半導体層14に添加されたp型ドーパントを活性化することにより、第2の半導体層14をさらに低抵抗化する。

【0143】

次に、図16(b)に示すように、例えば塩素をエッチングガスとするRIE

) 又は I C P エッチング等のドライエッチングにより、第 2 の半導体層 1 4、M Q W 活性層 6 3、及び第 1 の半導体層 1 2 の上部を選択的に除去して、第 1 の半導体層 1 2 に n 型電極形成領域 1 2 a を形成する。

【0 1 4 4】

次に、例えばスパッタ法を用いて、第 2 の半導体層 1 4 の上に n 型電極形成領域 1 2 a を含む全面にわたって、厚さが約 3 0 0 n m でマグネシウムが添加された酸化シリコンよりなる保護膜 5 1 を堆積する。続いて、堆積した保護膜 5 1 に対して、5 0 0 ℃程度の温度でアニールを行なうことにより、保護膜 5 1 に添加されたマグネシウムが、該保護膜 5 1 からその界面を通して第 2 の半導体層 1 4 の上部に拡散し、該第 2 の半導体層 1 4 の保護膜 5 1 との界面近傍の抵抗値が低減する。その後、保護膜 5 1 における第 2 の半導体層 1 4 上の透光性電極の形成部分、及び保護膜 5 1 における n 型電極形成領域 1 2 a の上側部分をドライエッチングにより選択的に除去することにより、図 1 6 (c) に示す状態を得る。

【0 1 4 5】

次に、図 1 7 (a) に示すように、例えばスパッタ法又は P L D 法により、第 2 の半導体層 1 4 の p 型ドーパントと同一の不純物元素であるマグネシウムが添加された I T O を、第 2 の半導体層 1 4 の露出面上に保護膜 5 1 を覆うように選択的に成膜して透光性電極 1 5 を形成する。その後、形成した透光性電極 1 5 に対して、再度 5 0 0 ℃程度の温度でアニールを行なうことにより、透光性電極 1 5 に添加されたマグネシウムが、該透光性電極 1 5 からその界面を通して第 2 の半導体層 1 4 の上部にさらに拡散し、該第 2 の半導体層 1 4 の透光性電極 1 5 との界面近傍の抵抗値がさらに低減する。その結果、p 型の第 2 の半導体層 1 4 の上には、より低接触抵抗の透光性電極 1 5 を形成することができる。

【0 1 4 6】

次に、図 1 7 (b) に示すように、透光性電極 1 5 における光導波部、すなわち第 2 の半導体層 1 4 と接触する部分の上に、互いに屈折率が異なる複数の誘電体層を積層して第 2 の D B R ミラー 6 5 を形成する。

【0 1 4 7】

次に、図 1 7 (c) に示すように、透光性電極 1 5 における保護膜 5 1 の上側

部分に、ワイヤボンディング用のボンディングパット 16 を選択的に形成し、続いて、第 1 の半導体層 12 における n 型電極形成領域 12a の上にチタンと金とを順次成膜して n 型オーミック電極 17 を形成する。

【0148】

以上説明したように、第 5 の実施形態に係る青色面発光レーザ素子の製造方法によると、透光性電極 15 と接触する p 型の第 2 の半導体層 14 は、保護膜 51 及び透光性電極 15 に第 2 の半導体層 14 の p 型ドーパントであるマグネシウムが添加されているため、保護膜 51 の堆積後のアニール、及び該保護膜 51 が除去された後に形成される透光性電極 15 の形成後のアニールによって、これらとの界面から第 2 の半導体層 14 にマグネシウムがそれぞれ拡散する。その結果、第 2 の半導体層 14 の透光性電極 15 との界面近傍の抵抗値が大きく低減して、透光性電極 15 と第 2 の半導体層 14 との接触抵抗が低減するので、低動作電圧による駆動が可能となる。

【0149】

なお、第 5 の実施形態の第 1 変形例として、保護膜 51 及び透光性電極 15 を構成する透光性材料 (ITO) に、窒化ガリウムの導電型を決定するドーパントを添加する代わりに、保護膜 51 及び透光性材料のうち少なくとも一方に、水素原子を吸着 (結合) しやすい金属元素、例えば、ニッケル (Ni)、パラジウム (Pd) 又は白金 (Pt) 等を添加しても良い。

【0150】

また、窒化物半導体のドーパントとなる不純物又は水素原子を吸着しやすい金属元素は、保護膜 51 及び透光性電極 15 のいずれか一方にのみ添加するだけでも、本発明の効果をを得ることができる。

【0151】

また、第 2 変形例として、第 3 の実施形態と同様に基板 11 を除去し、第 1 の DBR ミラー 61 における第 1 の半導体層 12 の反対側の面上に、n 型オーミック電極を設けてもよい。また、基板 11 を除去する場合には、第 1 の DBR ミラー 61 に対して第 1 の半導体層 12 の一部を露出するエッチングを行なって、その露出部分上に n 型オーミック電極を設けてもよい。さらに、基板 11 を除去す

る場合には、半導体積層構造体の成長時には窒化物半導体よりなる第1のDBRミラー61を形成せずに、基板11を除去した後に、第1の半導体層12におけるMQW活性層63の反対側の面上に、窒化物半導体に代えて誘電体よりなる第1のDBRミラー61を形成してもよい。

【0152】

第1のDBRミラー61及び第2のDBRミラー65を誘電体により形成する場合には、誘電体材料として、酸化シリコン (SiO_2)、窒化シリコン (Si_3N_4)、酸化ニオブ (Nb_2O_5)、酸化ハフニウム (HfO_2)、酸化チタン (TiO_2) 及び酸化タンタル (Ta_2O_5) のうち、互いに屈折率が異なる少なくとも2つを選択すればよい。

【0153】

また、第1～第5の各実施形態においては、基板11の主面にはなんら加工を施していないが、該基板11上には、選択的横方向成長 (Epitaxial Lateral Over Growth: ELOG) を行なえるように、選択成長用のマスクを形成したり、基板11の上部に段差部を設けたりしてもよい。

【0154】

また、各実施形態において、基板材料はサファイアに限られず、炭化シリコン (SiC)、ヒ化ガリウム (GaAs)、酸化亜鉛 (ZnO)、スピネル、又はシリコン (Si) 等を用いてもよい。

【0155】

また、各実施形態において、面発光型の窒化物半導体発光素子として、発光ダイオード素子及び面発光レーザ素子を挙げたが、透光性電極を窒化物半導体上に設ける構成を持つ半導体発光素子であれば、本発明の効果を奏することはいうまでもない。

【0156】

【発明の効果】

本発明の半導体発光素子及びその製造方法によると、製造時の熱処理により透光性電極又は保護に含まれる不純物元素が該透光性電極又は保護膜と界面を持つ半導体層に拡散するため、半導体層に拡散した透光性電極又は保護膜からの不純

物元素によって、該半導体層における透光性電極との界面近傍部分の抵抗値が低下するので、半導体層における透光性電極との間の接触抵抗が小さくなる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

(a) 及び (b) は本発明の第 1 の実施形態に係る青色発光ダイオード素子を示し、(a) は平面図であり、(b) は (a) の I b - I b 線における断面図である。

【図 2】

(a) ~ (c) は本発明の第 1 の実施形態に係る青色発光ダイオード素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 3】

(a) 及び (b) は本発明の第 1 の実施形態に係る青色発光ダイオード素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 4】

本発明の第 1 の実施形態の第 2 変形例に係る青色発光ダイオード素子を示す断面図である。

【図 5】

本発明の第 2 の実施形態に係る紫外発光ダイオード素子を示す断面図である。

【図 6】

(a) ~ (c) は本発明の第 2 の実施形態に係る紫外発光ダイオード素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 7】

(a) ~ (c) は本発明の第 2 の実施形態に係る紫外発光ダイオード素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 8】

本発明の第 3 の実施形態に係る青色発光ダイオード素子を示す断面図である。

【図 9】

(a) ~ (c) は本発明の第 3 の実施形態に係る青色発光ダイオード素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 1 0】

(a) ~ (c) は本発明の第 3 の実施形態に係る青色発光ダイオード素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 1 1】

本発明の第 3 の実施形態の第 2 変形例に係る青色発光ダイオード素子を示す断面図である。

【図 1 2】

本発明の第 4 の実施形態に係る青色発光ダイオード素子を示す断面図である。

【図 1 3】

(a) ~ (d) は本発明の第 4 の実施形態に係る青色発光ダイオード素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 1 4】

(a) ~ (c) は本発明の第 4 の実施形態に係る青色発光ダイオード素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 1 5】

本発明の第 5 の実施形態に係る青色面発光レーザ素子を示す断面図である。

【図 1 6】

(a) ~ (c) は本発明の第 5 の実施形態に係る青色面発光レーザ素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 1 7】

(a) ~ (c) は本発明の第 5 の実施形態に係る青色面発光レーザ素子の製造方法を示す工程順の断面図である。

【図 1 8】

従来の青色発光ダイオード素子を示す断面図である。

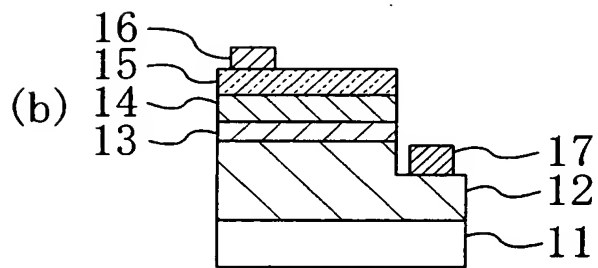
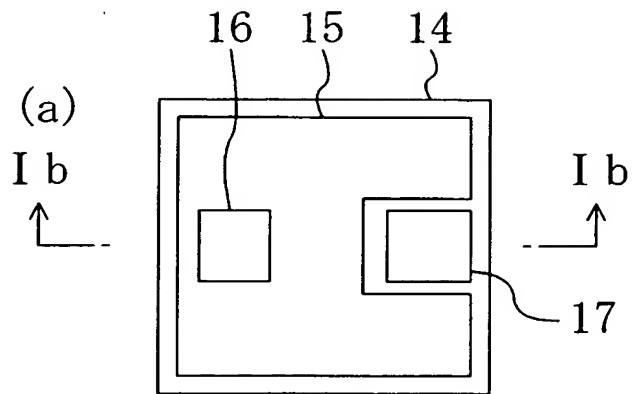
【符号の説明】

- 1 1 基板
- 1 2 第 1 の半導体層
- 1 2 a n 型電極形成領域
- 1 3 多重量子井戸 (MQW) 活性層

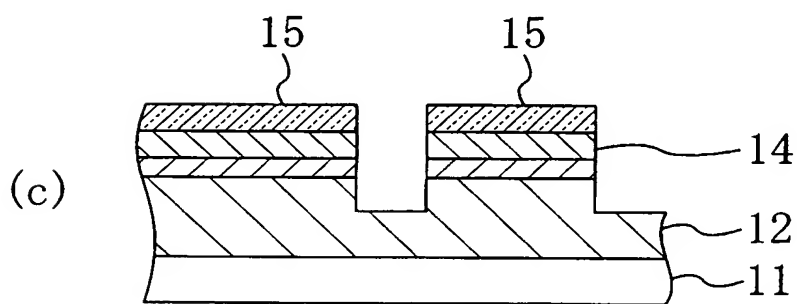
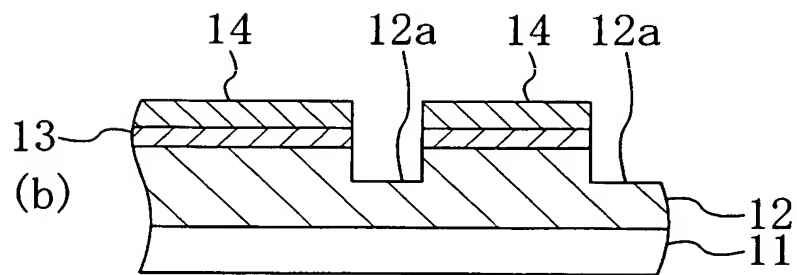
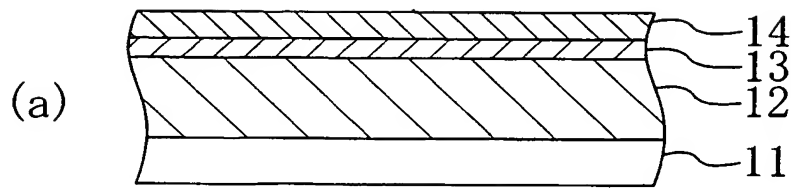
1 4	第 2 の半導体層
1 5	透光性電極
1 6	ボンディングパッド
1 7	n 型オーミック電極
2 0	実装基板
2 1	高反射膜
2 2	第 1 の半田材
2 3	第 2 の半田材
3 2	第 1 の半導体層
3 2 a	n 型電極形成領域
3 3	MQW 活性層
3 4	第 2 の半導体層
3 5	透光性電極
3 7	n 型オーミック電極
4 1	p 型電極
4 1 A	透光性 p 型電極
4 2	めっき下地層
4 3	めっき層
4 5	透光性電極
4 6	多層膜
5 1	保護膜
6 1	第 1 の DBR ミラー
6 3	MQW 活性層
6 5	第 2 の DBR ミラー

【書類名】 図面

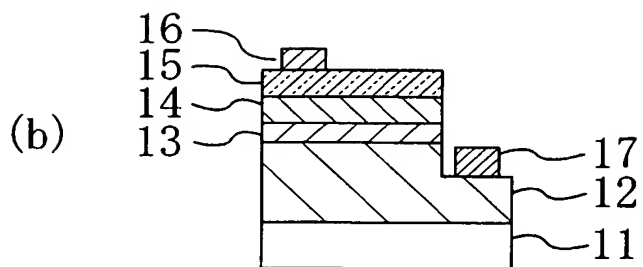
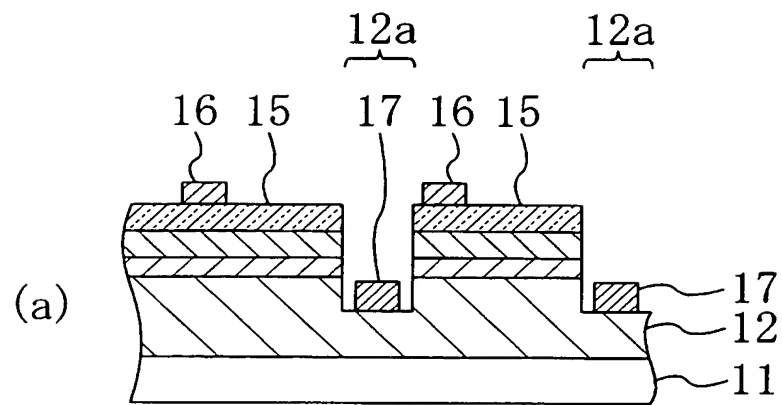
【図 1】



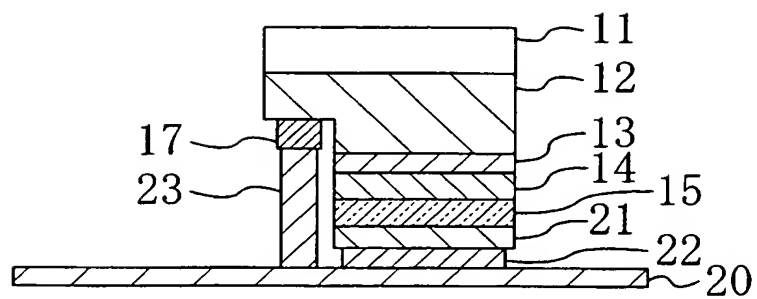
【図 2】



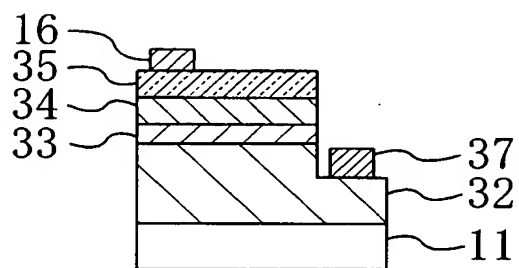
【図 3】



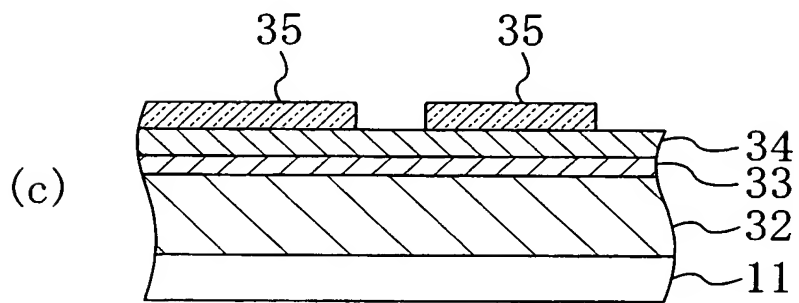
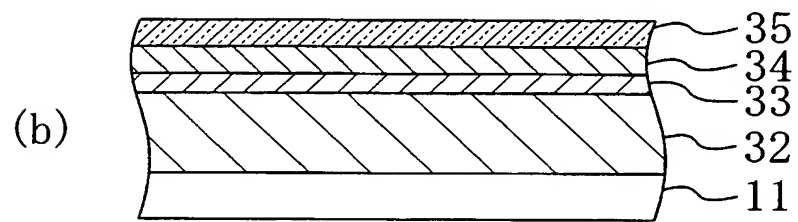
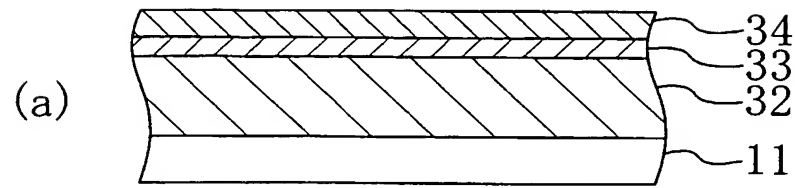
【図 4】



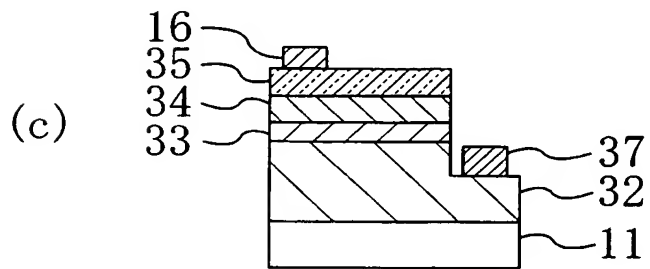
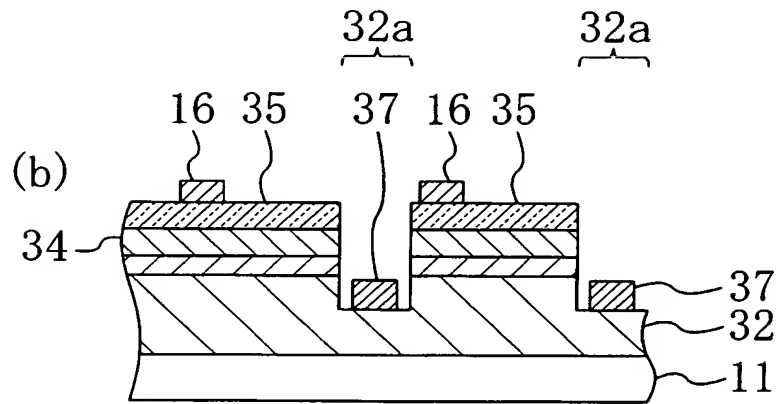
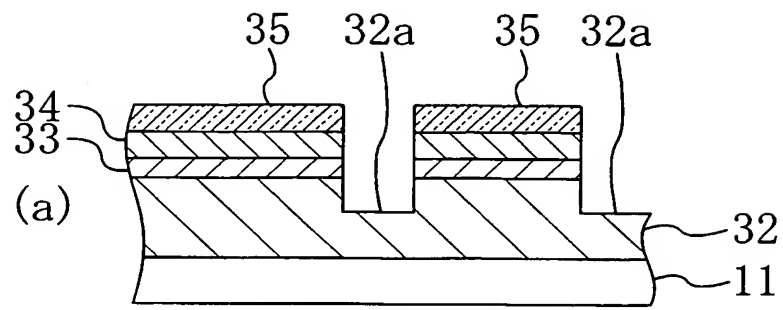
【図 5】



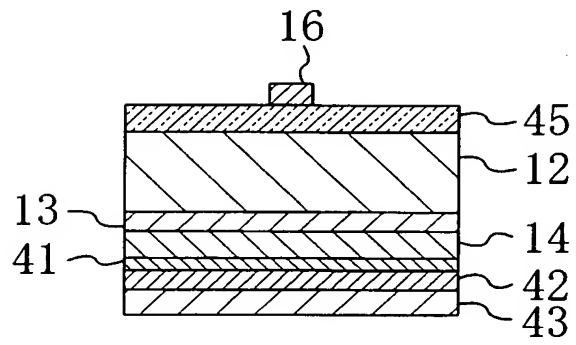
【図 6】



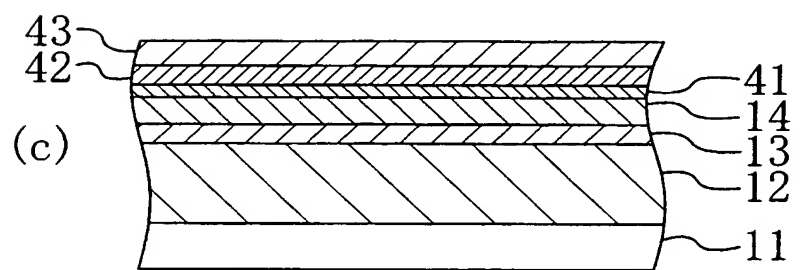
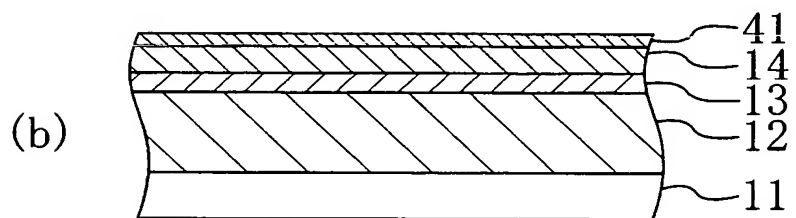
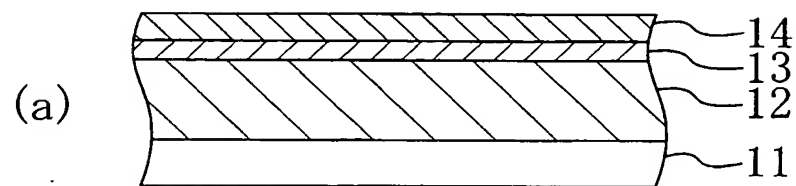
【図 7】



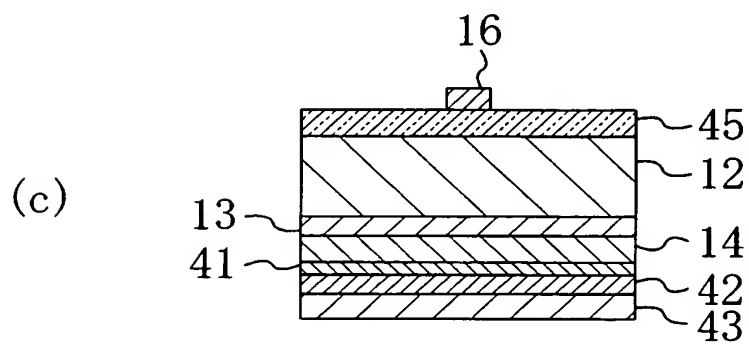
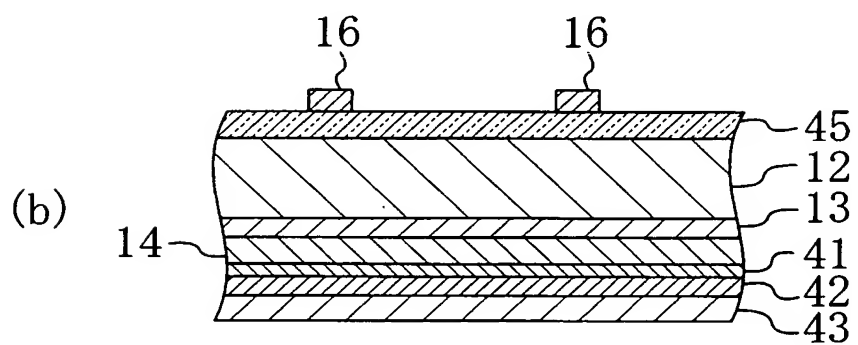
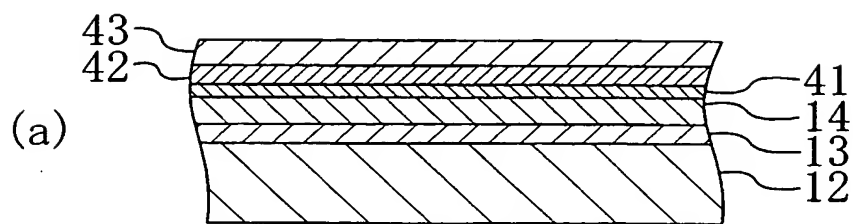
【図 8】



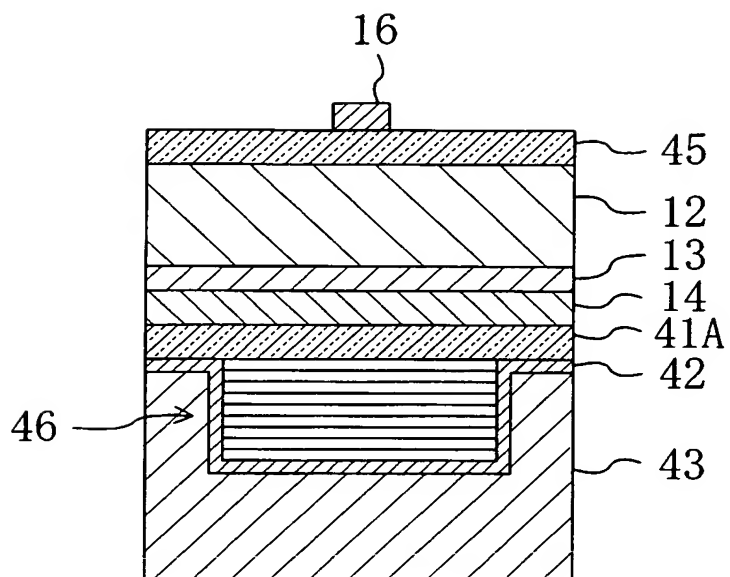
【図 9】



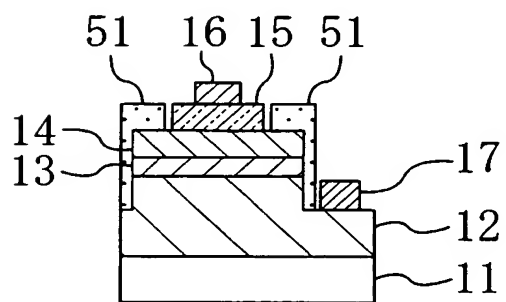
【図 10】



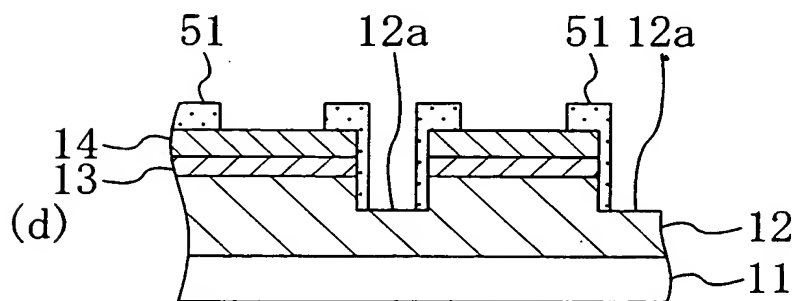
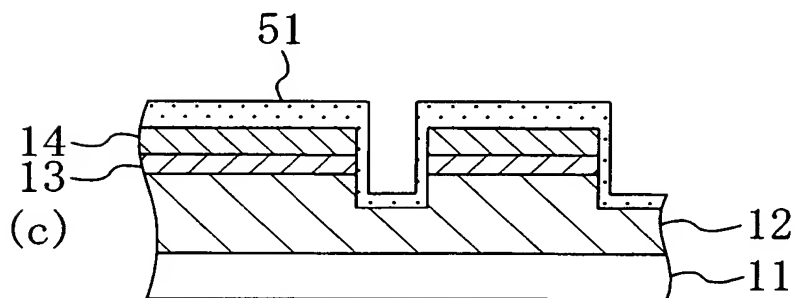
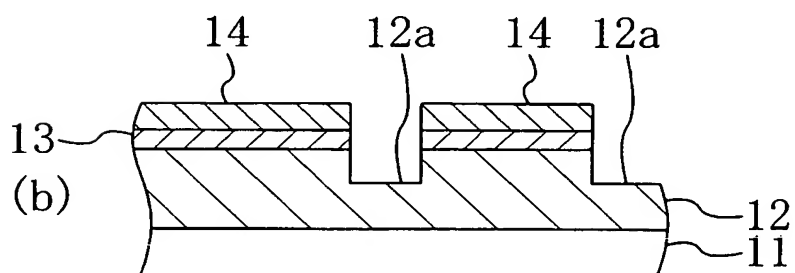
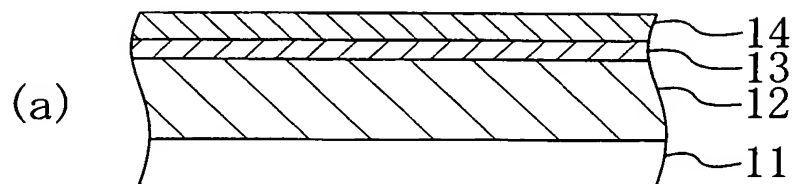
【図 1 1】



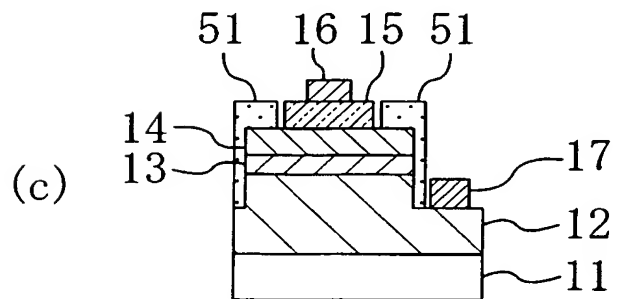
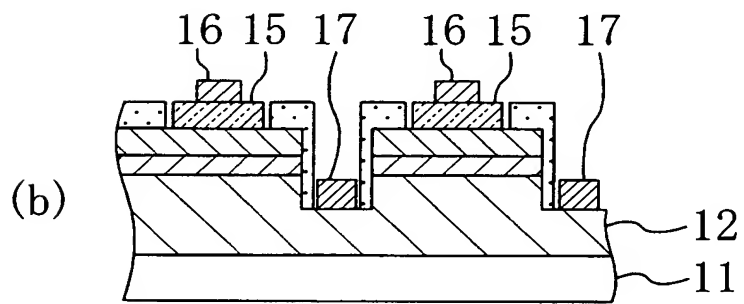
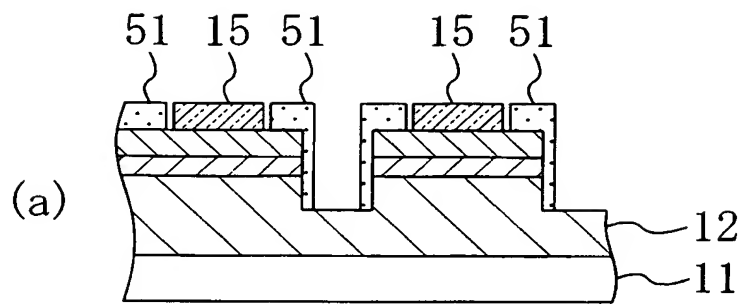
【図 1 2】



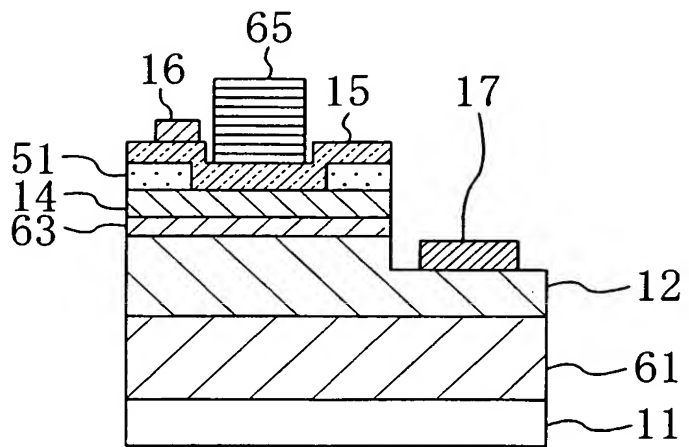
【図 13】



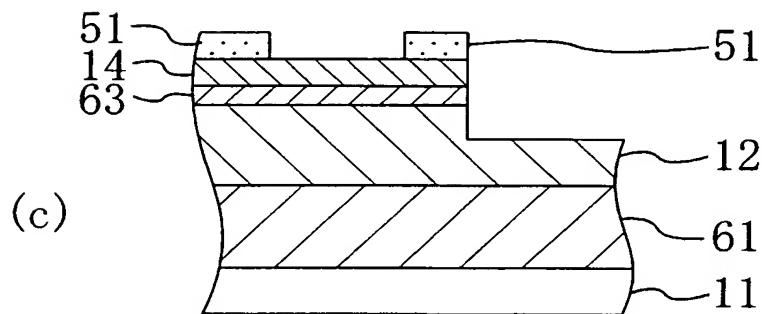
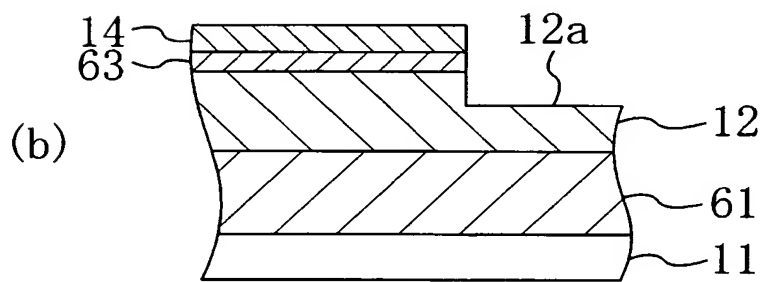
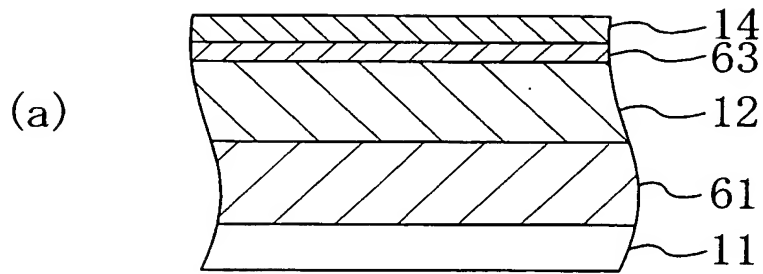
【図 14】



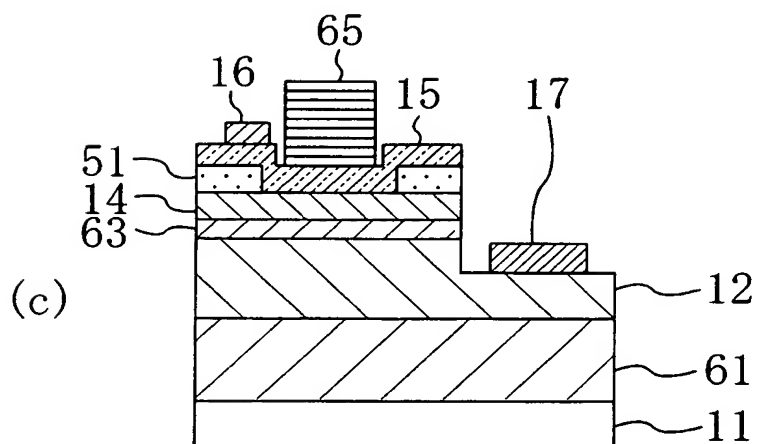
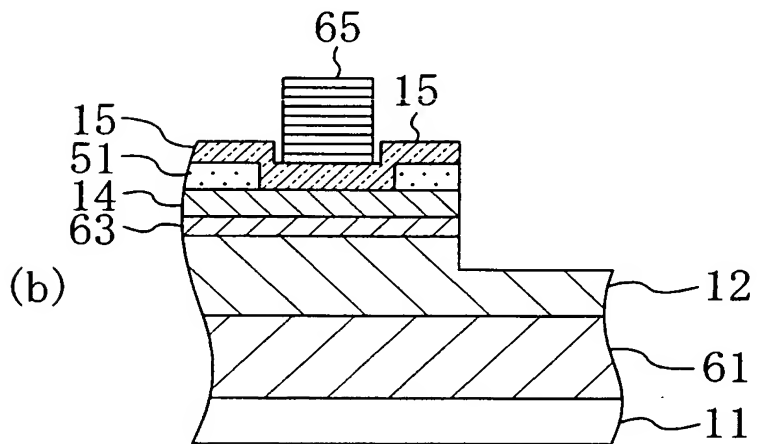
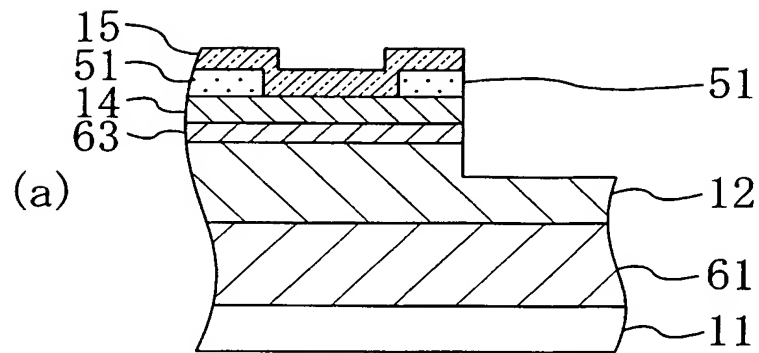
【図 15】



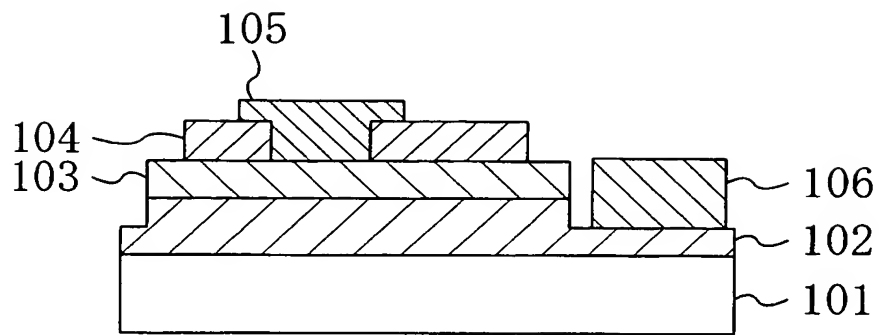
【図 16】



【図 17】



【図 18】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 窒化物半導体素子における透光性電極との間の接触抵抗を低減できるようにする。

【解決手段】 サファイアよりなる基板 1 1 の上には、n 型の窒化ガリウムよりなる第 1 の半導体層 1 2 と、Ga N よりなる障壁層と In Ga N よりなる井戸層とが 3 対積層されてなる多重量子井戸活性層 1 3 と、p 型の窒化ガリウムよりなる第 2 の半導体層 1 4 とが順次形成されている。第 2 の半導体層 1 4 の上には、ITO よりなる透光性電極 1 5 が形成されている。透光性電極 1 5 を構成する ITO には、p 型の第 2 の半導体層 1 4 に添加された不純物元素と同一のマグネシウムが添加されている。この ITO に添加されたマグネシウムは、後述するように製造時のアニールにより第 2 の半導体層 1 4 に拡散して、該第 2 の半導体層 1 4 と透光性電極 1 5 との接触抵抗が低減する。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 3 4 3 3 4 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 8 2 1]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 8 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地

氏 名

松下電器産業株式会社